GPS 測位記録を利用したスギ (*Cryptomeria japonica* D Don)

幼齢林内における放牧牛の行動

守屋和幸・吉村哲彦・北川政幸¹・小山田正幸²・杉本安寛²

京都大学大学院情報学研究科, 京都市左京区 606-8501

¹ 京都大学大学院農学研究科, 京都市左京区 606-8502

² 宮崎大学農学部, 宮崎市 889-2192

(2002. 9. 19 受付, 2003. 2. 14 受理)

要 約 林内放牧牛に GPS 受信機を装着し, 同時に実施した行動調査の結果と GPS 測位記録とを用いて調査牛の行動履歴の解析を行った. 2001 年 8 月 27 日から 9 月 1 日 (8 月 30 日のみ雨天) に, スギ人工林 (約 1.4 ha) に放牧されている黒毛和種繁殖雌牛 4 頭のうち 2 頭に GPS 受信機を装着し, 10 秒間隔で GPS 測位記録を収集した. あわせて, 1 分間隔で調査牛の行動を移動・佇立・採食・横臥・反芻に分類して記録した. このうち採食行動については採食した植物種も記録した. 調査牛は周囲が開けている高台の休息場所と低地の水飲み場との間を往復しながらその途中で採食する行動をとった. 調査牛の行動は, 移動 (10%), 採食 (40%), その他 (50%) であった. 調査牛はスギに対する採食頻度がもっとも高く, 次いでワラビ, クズの順であった.

日本畜産学会報, 74 (2) : 229-234, 2003

Global Positioning System (GPS) は地球の周回軌道を回る 24 個の GPS 衛星から地上に放射される位置測定用の電波を利用して, 利用者の現在地 (緯度・経度・高度) を得るためのシステムであり, カーナビゲーションなどに広く利用されている. また, 2000 年 5 月 2 日に Selective Availability (SA) と呼ばれる誤差情報が解除されたことにより, GPS 単独測位でも誤差 10 m 程度で位置情報の取得が可能となり, GPS 受信機に蓄積された履歴情報を回収・分析することで GPS 受信機を装着した移動体の精細な移動履歴が入手できるようになった.

近年, GPS のこれらの機能を活かして野生動物の移動経路情報の取得 (Bowman ら 2000 ; Biggs ら 2001 ; Dussault ら 2001) や適正な放牧管理のための情報を得る目的で放牧牛の牧区内での経時的な位置情報の取得 (Ganskopp ら 2000 ; Turner ら 2000 ; Ganskopp 2001 ; Lynos と Machen 2001) などに利用されている.

われわれは, 木材価格の低迷や林業の担い手の高齢化によって十分な下刈りが実施困難となってきたスギ人工林に黒毛和種繁殖雌牛を放牧することにより, 1) 林業経営にとっては下刈り施業の省力化, 2) 繁殖経営にとっては飼養管理の省力化と粗飼料資源の有効利用, を目指した「林畜複合システム」の検討を行ってきた (杉本 2002). 育林中の林の中に黒毛和種繁殖雌牛を放牧するにあたっては, ウシによる食害, 踏み倒し, こすり付け等の樹木に対する直接的な被害が懸念されるが, 人手に

による下刈り区の樹木被害率とほとんど差異は認められていない (杉本 2001, 2002). 一方, 牛道の形成や特定領域への過度の集中で生じる踏み固めによる土壌物理性の悪化, 当該放牧区での採食地と非採食地のアンバランスな分布など, 樹木に対する直接的な被害以外の問題点に関してはこれまで十分な検討が行われていない. 「林畜複合システム」を林業経営の視点からみると, 当該育成林内の下草をウシが均等に採食し, 土壌物理性を適切なレベルに保つことが大切であり, ウシの行動パターンによっては電気牧柵や水飲み場を移動して放牧区域の変更を行うなどの対処が必要になると考える. このような点から, 育成林内に放牧されたウシが日々どのような行動パターンを取っているかを把握することが重要になると考える. 一方, 上述したように, 近年 GPS 測位技術の進歩により野生動物においても, 位置情報の取得が可能になってきた. しかしながら, 樹木等によるマルチパスの影響を受けやすい育成林内で, 測位間隔を短くした連続測位で移動履歴が捕捉できるか否かについての検討は十分に行われていない.

そこで, 本研究では放牧牛に GPS 受信機を装着して測位間隔を短くした連続測位により移動履歴を取得することが可能であるか否かについての検討を行うとともに, 目視による行動調査を同時に行い, スギ幼齢林区内におけるウシの行動に関する検討を行った.

連絡者: 守屋和幸 (fax : 075-753-3133, e-mail : moriya@bre.soc.i.kyoto-u.ac.jp)

材料および方法

調査地および供試牛

調査地は宮崎県東臼杵郡諸塚村の5～7年生スギ主体の人工林であり、面積は1.4ha（スギ：1.28ha，ヒノキ：0.12ha），植栽密度は約2,500本/ha，スギ樹高2～4mである。この調査地の外周は電気牧柵で囲まれ，電源は太陽電池から供給された。調査地内には，2001年8月8日から黒毛和種繁殖雌牛（経産牛）4頭が放牧された。放牧牛はいずれも入牧前の妊娠鑑定で妊娠が確認されたものである。

調査概要

放牧牛4頭のうち2頭を供試牛として，2001年8月27日から9月1日にGPSを装着し，移動履歴を回収した。あわせて放牧牛の行動ならびに，採食植物種を1分間隔で記録した。なお，放牧牛の行動は「移動」，「佇立」，「横臥」，「反芻」およびそれらの組み合わせ（たとえば，「横臥・反芻」）に分類して記録した。調査日のうち，最終日（9月1日）には1頭の放牧牛にGPSを装着し，行動調査を行わず，夜間の移動履歴のみを収集した。調査日時の概要を表1に示した。

使用機材

移動局：GPS受信機（Trimble GeoExplorer3，12チャンネルL1 C/Aコード，L1フルサイクル搬送波，重量0.64kg）をポーチに入れて放牧牛の首に巻き，外部アンテナコードをケーブルスパイラルチューブで保護し，牛体側に瞬間接着剤およびガムテープで固定し，外部アンテナは瞬間接着剤を用いて十字部に固定した。GPS移動局装着時の概観を図1および図2に示した。

固定局：GPS受信機（Trimble 4600LS，12チャンネルL1 C/Aコード，L1フルサイクル搬送波，重量1.7kg，設置型）を調査地内の天空が開けた水飲み場から約100m（直線距離）離れた場所に三脚で固定して設置しディファレンシャル処理のためのデータを収集した。移動局および基地局で設定したGPSパラメータを表2に示した。

結 果

調査期間中（最終日の夜間の調査結果を除く）の供試牛2頭が5mメッシュ内に存在した頻度を地図上にプロットした（図3）。また移動履歴と調査地の傾斜との関係を図4に示した。これらによると昼間供試牛は牧区内を均等に移動するのではなく，水飲み場周辺，牧区の入り口付近，および横臥・反芻を行う2箇所の休息場所，下草の多い場所などの特定の場所を高い頻度で利用していた。さらに，いわゆる牛道以外の箇所での滞在頻度も多かった。傾斜との関係で見ると（図4），下草の量が多いにもかかわらず急斜面である北東（図右上）の部分はほとんど利用されていなかったが，水飲み場周辺，休息

Table 1. Research Schedule

Date	Weather	Start Time	End Time
2001/08/27	Fine	15 : 44	19 : 00
2001/08/28	Fine	09 : 30	15 : 30
2001/08/29	Fine	09 : 15	16 : 45
2001/08/30	Rain	09 : 45	15 : 00
2001/08/31	Cloud	10 : 00	16 : 00
2001/08/31-09/01*1	Cloud	23 : 00	06 : 15

*1 : Night-time research was carried out with only one cow. Monitoring cattle behavior was not done.

Fig. 1. GPS receiver was attached to the cow.

Fig. 2. Cows with GPS receiver are walking in the forest.

Table 2. GPS Receivers Setting

Receiver Type	Elevation mask (degree)	PDOP mask	SNR mask	Logging interval (second)
GeoExplorer3	15	25	1	10
4600LS	10	12	0	10

Fig. 3. Frequency of two cows locations in research site sampled at 10 seconds interval. White triangle ($\triangle$ -A) stands for place of water pot. White circle ($\circ$ -B) stands for entrance gate. C with line stands for resting place. Black circle ($\bullet$ -D) stands for GPS base station. I to IV stands for each compartment. Compartments of I and II are more bushes than that of III and IV. Each squared box stands for 5 m meshes.

Fig. 4. Walking tracks of two cows ($\bullet$) and degree of dig in the research site. White triangle ($\triangle$) stands for place of water pot. Each squared box stands for 5 m meshes.

場所周辺では傾斜の緩急にかかわらず比較的良好に滞在していた。一方、夜間の移動履歴についてみると高台の周囲の見通しが良い休息場所に夜間は長時間滞在していた。

表 3 に、移動履歴から算出した 1 時間当たりの移動距離を示した。供試牛 1 および 2 の 1 時間当たりの移動距離に関して対応のある平均値間の差の検定を行った結果、両者には有意な差は認められなかった。一方、いず

れの供試牛も雨天であった 8 月 30 日の移動距離は他の日に比べ少なかった。

表 4 に、1 分間隔で記録した昼間の行動調査の結果を示した。個体間で行動パターンに相違が認められたが、移動および採食行動の割合には両者間でほとんど差異は認められなかった。また、雨天の日には両個体とも横臥、横臥・反芻行動は認められずその代わりに佇立、佇立・

Table 3. Average Walking Distance (m/h)

Date	Cow No 1	Cow No 2
2001/08/27	737	524
2001/08/28	992	946
2001/08/29	719	840
2001/08/30	557	545
2001/08/31	776	745
2001/09/01 ^{*1}	750	

^{*1}: Night-time research was carried out with only one cow.

Table 4. Pattern of Cattle Behavior (%)

Type	Cow 1	Cow 2
Walking	10.5	12.8
Grazing	38.8	34.1
Lying	3.9	12.6
Lying and ruminating	2.8	13.9
Standing	25.0	16.6
Standing and ruminating	18.0	10.0

Table 5. Plant species grazed by cattle (%)

Vegetation	Cow 1	Cow 2
Herb		
<i>Miscanthus sinensis</i>	60.7	65.5
<i>Pteridium aquilinum</i>	10.4	8.5
<i>Pueraria lobata</i>	2.9	0.0
Others	0.2	1.9
Tree and shrub		
<i>Camellia sinensis</i>	6.1	3.3
<i>Styrax japonica</i>	1.7	2.8
<i>Ilex crenata</i>	1.5	0.0
<i>Mallotus japonicus</i>	1.2	4.1
<i>Acer mono</i>	1.2	0.0
<i>Quercus acutissima</i>	0.9	0.0
<i>Rubus palmatus</i>	0.9	0.0
<i>Hydrangea paniculata</i>	0.0	1.9
<i>Euscaphis japonica</i>	0.0	1.0
Others	2.9	1.9

反芻の割合が他の日に比べて多かった。

表5に採食した植物種の頻度割合を示した。両個体ともススキ (*Miscanthus sinensis*) の採食頻度がもっとも高く、ついでワラビ (*Pteridium aquilinum*) の採食頻度が高かった。また、スギに巻きついているクズ (*Pueraria lobata*) を採食することも観察されたが、その際スギに

対する障害はなかった。

考 察

野生動物の移動経路情報の取得 (Bowman ら 2000 ; Biggs ら 2001 ; Dussault ら 2001) や適正な放牧管理のための情報を得る目的で、放牧牛の牧区内での経時的な位置情報の取得 (Ganskopp ら 2000 ; Turner ら 2000 ; Ganskopp 2001 ; Lynos と Machen 2001) に近年 GPS が利用されるようになってきた。これらの研究ではいずれも GPS 内蔵の首輪を個体に装着し長期間の移動履歴の取得が行われている。しかしながら、装着した GPS への電源供給の関係から1日当たり数回から数十回程度の位置情報の取得しか行われていない。そこで、本研究ではより詳細な移動履歴の取得を行うために、GPS 測位の間隔を10秒間に設定し、6~8時間にわたり連続してGPS測位を行い、1日当たり2,500ポイント以上の位置情報を得た。また、GPS受信機をポーチに入れて放牧牛の首に巻き、外部アンテナコードをケーブルスパイラルチューブで保護し、牛体側に瞬間接着剤およびガムテープで固定し、外部アンテナは瞬間接着剤を用いて十字部に固定することにより (図1, 2)、調査期間中供試牛が密生したブッシュの中を移動してもGPSの脱落、ケーブルの損傷、ウシの事故などは1度も発生しなかった。森林内でのGPS測位は、樹木の影響で測位困難とされてきたが、最近の報告では (長谷川ら 1998 ; 小林ら 2001) 開空度の低い森林内であっても Differential GPS (DGPS) により、安定した測位記録が得られることが示されている。今回の調査地は5~7年生スギ主体の人工林であり一部分を除いて十分な開空度があり、また外部アンテナを十字部の位置に固定したことにより横臥時であっても外部アンテナが天頂部に向くことから、調査期間を通して安定した測位記録が得られた。さらに、調査地内の開けた場所に基地局を設置して DGPS により測位記録の補正を行ったため、得られた位置情報は平均2mの誤差 (twice the distance root mean square : 2 drms 単位) しか含まず、本研究のような放牧地内での行動履歴の取得目的には十分な精度を維持していると考えられる。

林内放牧における問題点として、牛道の形成や特定領域への過度の集中で生じる踏み固めによる土壌物理性の悪化が挙げられる。今回の調査では、標高の低い位置にある水飲み場と標高の高い位置にある周囲が開けた休息場所とを基点にして調査地内を周回し、途中で採食、佇立、反芻などを行う行動が基本ではあったが、特定時間における各個体の位置に一定の傾向は認められなかった。また図3および図4からも明らかのように、放牧牛がほとんど利用しなかった比較的急傾斜の北東 (図右上) の部分を除く他の領域でも過度の集中は生じていなかった。

Ganskopp (2001) は水飲み場と放牧牛の行動との関係 を GPS による行動履歴の解析から検討し、放牧牛の生活圏が水飲み場周辺(半径約 1 km) を中心にしたものであることを明らかにした。また、放牧地内において水飲み場を移動することにより、放牧牛の生活圏が移動することから、特定場所での放牧牛の過度の集中を防ぐための手段として水飲み場の移動が大きく貢献することを示した。しかし、Ganskopp (2001) の調査対象放牧地は面積 859 ha であり、本研究の調査地の面積 (1.4 ha) とは大きなへだたりがある。また、水飲み場半径 10 m 以内に供試牛が滞在した時間は 8 月 28 日の夕方を除いて 15 分以内であり、雨天 (8 月 30 日) にはまったく滞在していなかった。今回の行動履歴の解析から、放牧牛が休息場と水飲み場との間を巡回しながらの行動していることがうかがえたが、水飲み場が緩傾斜地に配置されていたため、放牧牛の行動が水飲み場の位置あるいは水飲み場が設置されている場所の傾斜のいずれか、もしくは両者に複合的に影響を受けているかを明らかにすることはできなかった。Ganskopp (2001) が指摘したように放牧牛の行動が水飲み場の位置の影響を強く受けておれば、水飲み場の配置を考慮することによって、放牧牛の移動距離の短縮によるエネルギー消費の抑制、急傾斜地における下刈り効果の向上、土壌保全の面から、放牧牛の行動を制御することが可能となる。本研究は連続した 5 日間のみの調査であり、放牧期間を通しての放牧牛の行動パターンを把握していないため、今後、飲水施設、傾斜度、ススキの現存量と放牧牛の行動との関係について、さらに検討が必要である。

表 4 に示したように、昼間の行動は移動が全体の約 10%、採食が約 40% であり、佇立、横臥および反芻が約 50% となっていた。表 3 に示したように時間当たりの移動距離は 700~1,000 m 程度であり、雨天の日は移動距離が短く佇立、佇立・反芻の時間が相対的に長かった。雨天時に佇立時間が長く、横臥あるいは横臥・反芻を行っていなかったことから、雨天時の体力消耗、体温低下などの生理的ストレスを軽減するために、林内放牧地に簡易な雨除けがあることが望ましいと考えられた。また、夜間の行動履歴の解析からは GPS 装着時および日の出後の移動が認められたが、深夜にはほとんど休息場所にとどまっていた。また、2 頭の供試牛の相対距離を求めたところ、大半の時間帯で両者は 20 m 以内に接近しており、肉眼的観察からもこれら 2 頭の供試牛と残り 2 頭が群れとして行動していることがうかがえた。

採食した植物種の頻度 (表 5) についてみると、ススキの採食が主体であることがうかがえる。一方で、ワラビの採食頻度が 1 割程度を占めていることが明らかとなった。ワラビの多量摂取はいわゆるワラビ中毒 (*Panmyelopathy*) の発生の心配がある。今回の調査は各植物種の採食頻度であり、量的な把握は行っていないが、本調

査地内にはワラビが比較的多く存在しているので注意が必要であると考ええる。

人工スギ林での下刈り作業の中でもとくに草丈の高いススキの刈り取りに多大な労力が必要とされるが、放牧牛は密生したススキ群の中にも頻繁に侵入してススキを採食していた。さらに、放牧牛の侵入によりススキの踏み倒しもみられ、植栽木に対しては下刈りと同等の効果が認められた。一方で、ススキなどに覆われた樹高の低いスギの幼木であっても放牧牛は避ける行動をとり、これらの幼木が踏み倒される被害はまったくなかった。

林内放牧牛の採食がススキ主体であることは、本調査地における幼齢林内の下草の大半がススキであることから、林内放牧牛が下刈りに極めて有効であることを証明した。ただし、施設配置、電気柵柵の設置方法、退牧時期などを通じて、放牧終了時に林内植生がムラなく採食され、かつ次年度の再生を保障するような方法の検討が必要である。

従来の行動調査では、調査牛の位置を一定間隔で地図上の絶対座標として捕捉することは困難であり、移動経路の正確な追跡ができないという欠点があった。この点に関して、今回用いた GPS による移動履歴取得法では詳細な位置情報の取得が可能であり、かつウシへの調査にともなうストレスも最小限に抑制できるというメリットがあった。しかしながら、今回用いたシステムでは、GPS を制御するための電源供給をバッテリーに依存していたため、最長でも 8 時間程度しか継続した測位ができないという制約があった。そのため、毎日ウシへの GPS の装着および脱着の操作を行わなければならない、昼夜を通しての連続したウシの移動履歴の取得はできなかった。この点に関しては、新たに長期間連続して位置情報の取得が可能な GPS 首輪 (Lotek 製) を用いた移動履歴の取得を開始し、試験地の植生量の経時的変化も測定しているので、育成林内でのウシの移動履歴と植生量の経時的変化の関係からウシによる下草刈り効果の詳細な検討を行っていききたい。

謝 辞

本研究の遂行にあたり、多大な協力をいただいた宮崎県東臼杵郡諸塚村関係者、京都大学大学院農学研究科附属牧場職員および岡崎泰昭氏をはじめとする宮崎大学農学部地域農業講座、京都大学大学院情報学研究科生物圏情報学講座学生各位に厚くお礼申し上げます。

なお、本研究の一部は日本学術振興会科学研究助成金基盤研究 (B) (2) 「生物圏情報の高度利用に関する基礎的研究」 (課題番号: 11460152) および日本学術振興会科学研究助成金基盤研究 (B) (2) 「九州中山間地域における放牧家畜の機能と役割に関する研究」 (課題番号: 13460120) の補助を得て行った。

文 献

- Biggs JR, Bennett KD, Fresquez PR. 2001. Relationship between home range characteristics and the probability of obtaining successful global positioning system(GPS) collar positions for elk in New Mexico. *Western North American Naturalist*, 61 : 213-222.
- Bowman KL, Kochanny CO, Demarais S, Leopold BD. 2000. Evaluation of a GPS collar white-tailed deer. *Wildlife Society Bulletin*, 28 : 141-145.
- Dussault C, Courtois R, Ouellet JP, Huot J. 2001. Influence of satellite geometry and differential correction on GPS location accuracy. *Wildlife Society Bulletin*, 29 : 171-179.
- Ganskopp D. 2001. Manipulating cattle distribution with salt and water in large arid-land pastures : a GPS/GIS assessment. *Applied Animal Behaviour Science*, 73 : 251-262.
- Ganskopp D, Cruz R, Johnson DE. 2000. Least-effort pathway? : a GIS analysis of livestock trails in rugged terrain. *Applied Animal Behaviour Science*, 68 : 179-190.
- 長谷川尚史・吉村哲彦・山手規裕・境慎二郎・福田昌史. 1988. 山岳林におけるディファレンシャル GPS の測位精度と手法の検討. 森林利用学会誌, 13 : 89-98.
- 小林裕之・矢田 豊・茶珍俊一・小神野和貴・野上由美子・鳥本秀幸. 2001. 森林内外での多機種の GPS 受信機による測位比較. 日本林学会誌, 83 : 135-142.
- 杉本安寛. 2001. 地域農林業における林内放牧の位置付け—諸塚村における事例と今後の方向—(平成 12 年度緑資源活用方法開発実証事業 森林の畜産の利用活用調査研究報告書 森林の混牧林としての効果的利用に関する調査研究委員会編) 47-57. 森とむらの会, 東京.
- 杉本安寛. 2002. 林畜複合システム—宮崎県諸塚村の事例を中心に—. 日本草地学会誌, 47 : 644-651.
- Lyons RK, Machen RV. 2001. Livestock Grazing Distribution : Considerations and Management. Texas Cooperative Extension. L-5409.
- Turner LW, Udall MC, Larson BT, Shearer SA. 2000. Monitoring cattle behavior and pasture use with GPS and GIS. *Canadian Journal of Animal Science*, 80 : 405-413.

Monitoring Cattle Behavior in the Forest Using GPS Records

Kazuyuki MORIYA, Tetsuhiko YOSHIMURA, Masayuki KITAGAWA¹, Masayuki OYAMADA²
and Yasuhiro SUGIMOTO²

Graduate School of Informatics, Kyoto University, Sakyo-ku, Kyoto-shi 606-8501, Japan

¹ Graduate School of Agriculture, Kyoto University, Sakyo-ku, Kyoto-shi 606-8502, Japan

² Faculty of Agriculture, Miyazaki University, Miyazaki-shi 889-2192, Japan

Corresponding : Kazuyuki MORIYA (fax : +81 (0) 75-753-3133, e-mail : moriya@bre.soc.i.kyoto-u.ac.jp)

Monitoring cows behavior in the forest and acquiring their position information, we attached cows GPS receiver and analyzed their GPS logs. Positional records with ten seconds interval were obtained by two of four Japanese Black cows with GPS receiver from August 27 to September 1, 2001. At the same time, cow behaviors in the forest, classified by walking, standing, grazing, lying and ruminating, were recorded with one-minute interval. Kinds of vegetation that cows intake were also recorded. Cows moved in the study site unevenly during the research period. They were staying for long time around the resting point and around the water point. On the contrary, cows did not utilize the area in the steeper place. Classified cow behaviors in daytime were by walking (10%), grazing (40%) and others (50%). Cows had Japanese pampas grasses (*Miscanthus sinensis*) the most frequently, and followed bracken ferns (*Pteridium aquilinum*) and kudzu vines (*Pueraria lobata*).

Nihon Chikusan Gakkaiho, 74 (2) : 229-234, 2003

Key words : GPS, Monitoring cattle behavior, Grazing cattle in the forest